

Mc
Graw
Hill Education

Technology
实用技术

CNC
PROGRAMMING

FANUC数控 宏程序编程技术

一本通

[印] S.K. Sinha 著
段振云 赵文辉 译
李 强 谷艳玲

- 宏程序实例典型、丰富，实用性强
- 内容详尽，循序渐进，便于理解
附宏程序/参数列表，方便快速查询

 科学出版社

FANUC 数控宏程序 编程技术一本通

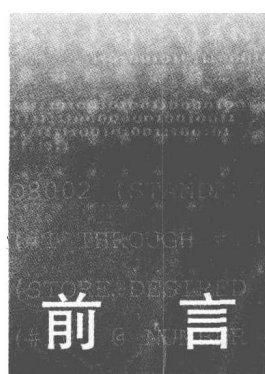
〔印〕 S. K. Sinha 著

段振云 赵文辉 译

李 强 谷艳玲

科学出版社

北 京



在制造业,计算机数控(CNC)机床以高精度、可重复性和无与伦比的性能,实际上已经彻底取代了普通机床。从长远考虑,CNC 机床更加节省成本,所以即使是小型制造设备也在采用这种方式。现在,人们已经不再讨论“为什么使用 CNC 机床”这样的问题了!

具有最新引进的宏编程性能的 CNC 机床的功能是非常强大的,机床如果不使用宏编程性能,就像最新款手机只用来交换语音信息一样浪费。不幸的是,在这一领域缺少受过培训的专门人员。出现这种现象的主要原因是,对于这一面向工业的课题,在工程类大学 and 高职院校并不对其进行深入学习。一些商业化的 CNC 培训学校也只是对学员进行基本培训,往往那些培训高等技能的地方收费又特别高。最糟糕的是,由于学术竞争,人们一般不愿意把自己的知识与同行分享,照此下去,人们很难学会宏编程技术,致使 CNC 显得很神秘。

造成宏编程学习障碍的根本原因是这一领域缺少一本合适的教材。机床附带的使用手册不能作为教材,虽然这些手册确实能描述编程语言的所有性能,但是实际上它们只是参考书,不是以教材的形式编写的。虽然这些手册便于获得有关具体编程特征的详细信息,但是人们很难从这些手册上系统地学到编程语言。需要一本每一步骤都进行详细说明的教材,从最基本的原理开始,再慢慢地学习复杂的知识。这是本书的最根本的目的。本书是一种自成体系的教材,按照章节顺序从开始读到结尾,不需要其他书籍或者导师的帮助,读者可以用最简单的方式进行自学。

本书主要讨论 FANUC 版本的宏编程语言 *B类用户宏程序* (*A类用户宏程序* 已过时而不再使用),此版本参照 0i 系列控制系统。尽管在所有 FANUC 控制系统版本(和能与 FANUC 兼容的控制系统)中,语言都是大同小异的,但是一些系统变量和控制参数在不同的版本中是不一样的。因

此,应仔细检查相关机床使用手册,并在需要的地方做出更改。

最后,需要注意的是,虽然为了保证书中给出的程序不出错误并按预期执行,作者做了很多细致的工作,但无论是作者还是出版商都不能保证一点错误都没有,所以,在实际运行之前一定要对新程序进行模拟检查。

欢迎广大读者对本书提出任何修改意见,反馈可以直接发到作者的邮箱 `sinha_nsit@yahoo.co.uk`。

S. K. Sinha



本书作者衷心感谢印度瓦拉纳西 BHU 工业学院主车间的 V. P. Singh 责任教授、车间负责人 M. D. Tyagi 先生,在他们的帮助下,我才有机会进入 CNC 实验室来测试本书中设计的大部分程序。还要感谢 HOD 机械工程学院的 J. P. Dwivedi 教授,以及我的同事 Pradyumna Ghosh 博士,在我沮丧的时候是他们用真诚的话语鼓励我,使我有勇气进行下去。

作者在此同时也要感谢 CNC 专家给出的宝贵意见,这些专家包括: Suburban Machinery Software 公司的 Dan Fritz 先生,他曾是此公司 FANUC 应用工程师,现为此公司总裁,威斯康星州沃克莎的 CNC 方面的资深专家 Steve Hase 先生。

感谢 McGraw-Hill 和 Glyph International 的所有编辑及制作小组,排版由他们完成。感谢他们对此项目的专业性的帮助。

我还要感谢我的妻子 Seema,女儿 Shubhi 和儿子 Sarthak,感谢他们对我的理解和支持,正因为有了这些我才能够很顺利地地完成此项目。

最后,我怎么也不会忘了最重要的人,那就是我的母亲, Kanti Singh 女士,感谢她一如既往的鼓励。

S. K. Sinha



第1章 绪 论	1
1.1 零件编程技术	3
1.1.1 传统零件编程	3
1.1.2 交互式零件编程	4
1.1.3 使用 CAM 软件的零件编程	4
1.1.4 宏编程	5
1.2 宏编程的一些应用	5
1.2.1 复杂运动	6
1.2.2 零件族	6
1.2.3 自定义固定循环	8
1.2.4 “智能”程序	8
1.2.5 检 测	9
1.2.6 机床状态信息/控制	9
1.2.7 与外部设备通信	10
1.3 机床具有宏编程功能的基本特征	11
1.4 本书的目的	12
1.5 怎样使用本书	13
 第2章 变量与表达式	15
2.1 宏变量	16
2.2 宏表达式	16
2.3 变量赋值	20
2.4 显示变量	22
2.5 实数值与整数値	23

2.6 未定义的变量	27
2.6.1 字地址中的空变量	27
2.6.2 算术运算中的空变量	27
2.6.3 条件表达式中的空变量	28
2.7 一个宏编程功能的简单应用	29
2.8 在 MDI 模式中保留程序	29

第 3 章 变量类型 31

3.1 局部变量和全局变量	32
3.2 系统复位对宏变量的影响	34
3.3 各级局部变量	34
3.4 变量中存储的值的范围	39
3.5 系统变量	41
3.5.1 系统变量与系统参数的比较	41
3.5.2 FANUC Oi 系列控制系统中的系统变量	42
3.5.3 系统变量的显示	42
3.5.4 接口信号	43
3.5.5 用于输入接口信号的系统变量	46
3.5.6 用于输出接口信号的系统变量	46
3.5.7 几何和磨损补偿值	47
3.5.8 工件坐标系偏移量	50
3.5.9 宏报警	51
3.5.10 时间信息	52
3.5.11 自动操作控制	52
3.5.12 暂停执行	54
3.5.13 镜像信息	54
3.5.14 已加工工件数目	55
3.5.15 模态信息	56
3.5.16 当前刀具位置	59
3.5.17 零点偏移值	60

第4章 宏函数	61
4.1 宏函数的类型	62
4.1.1 算术表达式的运算优先级	62
4.1.2 布尔表达式的运算优先级	63
4.1.3 计算顺序的影响	63
4.1.4 括号的嵌套	64
4.2 算术运算	64
4.2.1 算术运算符	64
4.2.2 除运算与程序段跳跃函数	65
4.3 三角函数	66
4.4 舍入函数	69
4.4.1 隐式舍入和显式舍入	69
4.4.2 ROUND 函数、FIX 函数和 FUP 函数	70
4.5 辅助函数	73
4.5.1 SQRT	73
4.5.2 ABS	73
4.5.3 LN	74
4.5.4 EXP	75
4.5.5 数的任意次幂	75
4.6 逻辑函数	76
4.6.1 位函数	76
4.6.2 布尔函数	78
4.6.3 按位运算与布尔运算的比较	79
4.6.4 使能布尔运算	80
4.6.5 按位运算的应用举例	81
4.7 类型转换函数	83
 第5章 分支与循环	 87
5.1 无条件分支	88
5.2 条件分支	89

5.3	单一宏语句的条件执行	102
5.4	循环执行	103
5.5	宏变量号的数学运算	112
5.5.1	零点偏移方法	115
5.5.2	机床坐标系	116
5.5.3	外部工件坐标系	117
5.5.4	G54~G59, G54.1 P1~P48 工件坐标系	118
5.5.5	操纵偏置值进行零点偏移	118
5.5.6	通过系统变量进行零点偏移	119
5.5.7	铣床中工作偏置的显示	119
5.5.8	不同工作偏置值的系统变量	120
5.5.9	通过程序零点偏移	121
5.6	WHILE 循环嵌套	125
第 6 章	子程序	131
6.1	概 述	132
6.1.1	什么是子程序	132
6.1.2	使用子程序的目的	132
6.1.3	子程序与传统计算机语言的子程序比较	132
6.2	子程序的调用	133
6.3	子程序的多重调用	136
6.4	子程序嵌套	144
第 7 章	宏程序调用	149
7.1	概 述	150
7.2	宏程序与子程序	150
7.3	宏程序调用	150
7.3.1	简单调用(G65)	151
7.3.2	模态调用(G66)	155
7.3.3	自定义 G 指令调用	159

7.3.4	自定义 M 指令调用	161
7.4	不使用 M98/M198 调用子程序	162
7.4.1	M 代码调用子程序	162
7.4.2	T 代码调用子程序	164
7.5	参数指定	166
7.5.1	参数指定类型 I	166
7.5.2	参数指定类型 II	167
7.5.3	混合参数指定类型	168
7.5.4	带参数 G 代码宏程序调用实例	170
7.6	宏语句处理	178
7.6.1	什么是缓冲	178
7.6.2	缓冲程序段的数量	178
7.6.3	缓冲程序段的处理时间	178
7.6.4	程序执行中宏语句缓冲的影响	181
第 8 章	复杂运动的生成	183
8.1	概 述	184
8.2	半径均匀变化的弧	184
8.3	变半径螺旋插补	193
8.4	车削加工抛物面	200
8.5	车削加工正弦曲线	206
第 9 章	参数化编程	213
9.1	概 述	214
9.2	定位销钉	215
9.3	法兰上的螺栓孔	221
第 10 章	自定义固定循环	229
10.1	概 述	230

10.2	车床上深孔啄钻	230
10.3	铣床上啄钻深度逐渐减少的钻孔	239
第 11 章	检 测	247
11.1	概 述	248
11.2	数控机床的跳跃功能	249
11.3	检测腔	250
11.4	寻找孔的中心	253
11.5	确定工件边缘角度	256
11.6	调整磨损补偿	258
第 12 章	与外部设备通信	263
12.1	概 述	264
12.2	转换原理	264
12.3	输入类型及接线	266
12.4	接口的引脚分配	268
12.5	源型/漏型 PLC 输入离散传感器	271
12.6	输出类型及接线	273
第 13 章	可编程数据输入	277
13.1	概 述	278
13.2	WCS 偏移距离数据输入	279
13.3	附加 WCS 偏移距离数据输入	280
13.4	铣床的补偿值数据输入	281
13.5	车床补偿值数据输入	283
13.6	参数值的数据输入	286
附录 A	复杂宏程序表	291
附录 B	参数表	293

第 1 章 绪 论

- 1.1 零件编程技术
- 1.2 宏编程的一些应用
- 1.3 机床具有宏编程功能的基本特征
- 1.4 本书的目的
- 1.5 怎样使用本书

数字控制应用数字技术,通过叫做**零件程序**的一系列代码,启动不同的驱动马达、继电器等,来控制机床刀具。这些机床最早被称为**数控(NC)机床**。在20世纪50年代,人们首次使用数控技术。后来,随着科技的发展,计算机成了机床不可或缺的一部分,而且机床大部分功能是由软件控制,而不是都由硬件操作,这种机床称为**CNC机床**。虽然现在已经不再生产数控机床,但是仍沿用这一术语来指代这种技术。

在制造业,CNC机床以高精度、可重复性和无与伦比的性能,实际上已彻底取代了普通机床。因为从长远考虑CNC机床更加节省成本,所以即使是小型制造设备也采用这种方法。现在人们已经不再讨论“为什么使用CNC机床”这样的问题了!

与其他任何计算机应用程序一样,需要开发适用性良好而有效率程序,以挖掘CNC机床的潜能。不幸的是,在这一领域缺少足够的有经验的人才,主要原因是工程类院校和高职院校的传统课程在CNC编程方面并不进行细化讲解。而且,如果你是一个实战型工程师,你可能会意识到这样一个问题:工业领域中少数拥有编程知识的人不愿意与其他人分享他们的知识和经验,原因是显而易见的!而且,自学并不是一件容易的事情,尤其是在内容很复杂、可用信息又非常零散的情况下,就更为困难。

应此方面需求,近年来CNC机床培训学校如雨后春笋般一一出现。然而,大部分培训学校只提供基本的CNC培训,全球只有很少的几家培训学校提供高级CNC机床培训课程,甚至连内容完善的教材也是寥寥无几,而且,当人们想了解某一特殊性质的详细描述时,使用手册也仅提供参考。以上种种原因导致了自学非常困难,尤其是对于不知道从何开始的新手。事实上,如果你想掌握一门复杂的学科,而对这门学科又完全不了解,你首先应该想清楚**怎样开始学习**;如果你刚开始就误入歧途,很快这门学科就会显得非常复杂和无聊,这些都会令你很头疼。所以,有条理地、一步一步地学习是至关重要的。

本书旨在满足此需求。如果你有编程和操作CNC机床的基

本知识,这本书能帮助你学习 CNC 机床的高级特征,一些你可能闻所未闻的特征。更为重要的是,本书完全以**自学模式**编写。

首先,讨论几种零件编程技术及其应用领域。接下来,讨论高级编程技术,此技术为传统的 CNC 机床编程添加了全新的特征。本书其余章节详细描述了此技术的相关知识。

1.1 零件编程技术

CNC 机床的功能由零件程序决定。一般来说,机床操作员的职能就限定在夹紧或松开工件,对于这项工作半成手都能做得很好。产品的质量和生产效率主要取决于程序员的编程技能。程序员不仅要是一个机械专家,还要对工厂加工实践有一定了解。除此之外,他还要了解机床控制系统可用的特征。只有在这种情况下,才有可能开发高效的零件程序,并得到很好的结果。CNC 机床工作就像是各个“顺从的奴隶”,**准确地完成交给的任务**。因此,如果 CNC 机床在使用零件程序时,能够对给出的指示提供最佳解决方法,就是名副其实的 CNC 机床。

从广义上理解,准备零件编程有 4 种不同的方法,下面将进行详细说明。

1.1.1 传统零件编程

传统零件编程是使用简单的 G 代码/M 代码的程序,它的缺点是有很多的限制,并有限定的范围。如果想通过传统的方式对一些限定规格的工件进行加工,并且也不需要较高的生产效率,传统零件编程绰绰有余。传统零件编程的限制是它不允许使用变量、数学运算、函数、逻辑、循环和程序中的这一类事物。换言之,它不具备典型计算机语言的基本特点,例如 PASCAL 程序。针对一个特殊的需求,它是一种固定的编程。很明显,这在很大程度上限制了程序的范围。对于不同的需求,用一种固有的逻辑来编写“智能”零件程序是不太可能实现的。事实上,随后会见到,有很多

应用都是不能使用传统零件编程方法编程的。这种编程方法只适用于那些有限的目的。

1.1.2 交互式零件编程

即使是传统零件编程也相当复杂,所以,为了简化特定类别零件的编程,在此介绍一下交互式零件编程。这些程序让用户在即使没有足够的编程经验情况下也能很轻松地开发适当的零件程序。程序员不需要详细了解零件编程的语言,只要了解在什么步骤下应该做什么工作和选择哪个加工参数就可以。控制系统以交互的方式给程序员提供所需的信息。然而,这种编程方法也有它的局限性,它只适用于某些特定的几何体,尽管这种方法能够快速、高效地对一些通用应用程序进行编程,但是如果是特殊要求,这种方法就无用武之地了。实际上,交互式编程只是传统零件编程技术中一个很小的分支。事实上,交互式编程对职业工程师没有意义。

1.1.3 使用 CAM 软件的零件编程

如果只有机床的两个轴需要同步控制(包括螺旋插补),这也是很多实践应用中遇到的情况,手动编写零件程序是可以的,除非遇到不标准的几何体,例如抛物线。如果遇到不标准的和/或三维几何体,例如压模加工,若使用人工进行编程就太麻烦了,甚至在一些情况下都不能进行编程。一些 CAM 软件能产生需要的刀具路径,而且能自动生成加工程序来适应所选择的控制系统版本。然而,CAM 软件的最基本的目的是计算不能用手工计算的东西(例如,5 轴机床刀具路径,通过这个路径可以始终保持刀具垂直于它加工的表面)。所以,即使它能产生复杂的刀具路径,也能提供一些加工相关的信息,例如加工时间、干涉面检查等,但这种方法也只能做这么多的工作了。从广义上来讲,这种方法并不能为传统零件编程增加额外的特性。传统零件编程和计算机辅助零件编程的区别如同人工进行数学计算和使用计算器进行计算的区别。

所以,CAM 软件的适用范围有一定的局限性,并不能提供所有的制造加工的解决办法。在某些需求面前,这种方法就变得苍白无力,在以后的叙述中能接触到这些问题。

1.1.4 宏编程

20 世纪 90 年代,传统零件编程语言中吸纳了高级计算机语言的基本特点。新的程序设计语言命名为宏编程,此程序设计的特点与 BASIC 计算机语言类似。多年后,宏编程已经得到稳步的发展。除了字母数字式字符仍然不能用于变量名等一些限制之外,现在这种程序设计已经相当先进。在下文中能见到,宏编程已经完全改变了近些年 CNC 机床的程序设计方式,为此领域开辟了无数的可能性,其唯一的限制就是程序员的想象力。

在上述的四种方法中的任何一种方法都有各自的应用领域,并为特定的目的服务。四种方法的比较是无意义的。然而,宏编程能提供增加效率的多种工具,这一点其他三种方法都望尘莫及。当前的工业制造的重点不只是实现自动化,提高效率,还有实现**柔性自动化**,以便能对快速变化的市场需求迅速反应。宏编程能够让零件编程设计以设定好的逻辑灵活地来适应不同的加工需求。另外,在很多情况下,可以把 CNC 机床设计为在不受操作员干涉的情况下,能够对不同情况做出决定。所有的这些功能成就了不可比拟的高效率。

1.2 宏编程的一些应用

许多制造设备都非常适合应用宏编程,只不过人们还没意识到。而且,如果一个人不知道有这种应用的存在,他永远不会考虑学习它,更别提使用它了!事实上,大部分现代 CNC 机床作为固有的特点是有此功能的(在某些机床上是可选功能),但是很多用户根本就不知道这些。在如今这样一个竞争激烈的社会里,对于

CNC 机床这样强大的特点若有人熟视无睹,那将损失惨重。这种程序设计方法能大大增强机床的性能,而大多数机床生产商(MTB)、控制系统生产商,甚至一些技术培训学校也不太提及这一点,这就太让人惊讶了。

宏编程的主要应用领域在下面部分具体说明。

1.2.1 复杂运动

大多数 CNC 控制系统只提供直线插补和圆弧插补,举例来说,其结果是不可能用车床上车削抛物线或者在铣床上切削椭圆槽。对于这样的应用,需要借助一些另外的计算机编程语言来产生刀具路径,像非常小的直线段的链,这个链由直线插补(G01)按顺序连接。另一种方法就是使用 CAM 软件。然而,宏编程作为一种拥有所有高级计算机程序设计语言的相关特点的方法,使得我们能轻松地编写出任何一种复杂运动,在这种方法中能用数学方程式。这种方法能排除程序加载到 CNC 的 RAM 中的困难,因为由外部计算机语言或 CAM 软件产生的文件极大,这在某些时候使宏编程成为更好的选择。但是宏编程不能完全代替 CAM 软件,如果没有 CAM 软件,很多功能就无法实现。

1.2.2 零件族

几乎所有的公司都有一些适合这种分类的应用,通过开发零件族的参数化程序来减少零件编程的时间。在法兰上钻螺栓孔就是很好的例子。虽然所有法兰由于设计和加工方法的相似性,可能都属于一个相同的类别,但是实际上它们都是不同的。例如,对于不同的法兰,其孔的数量、孔的深度(也就是法兰的厚度)、孔的中心圆直径都是不同的。即使是工件材料也有可能不同,需要采用不同的进给量和主轴转速。这些不同又可能决定了不同的法兰使用不同的加工循环(G81、G82 等)。

这意味着,虽然对于所有法兰来说加工方法在本质上是相同的,但是程序设计在某种程度上是不同的。然而,使用宏编程特征